Weichen in der Hochfrequenztechnik und Kohlenstoffmonoxid-Überwachung

Aufgaben

1 In der Hochfrequenztechnik werden meist Koaxialleitungen zur Übertragung von Signalen genutzt. Als Träger dieser Signale dienen eine oder mehrere sinusförmige Wechselspannungen. Häufig wird über die Koaxialleitung neben der Signalübertragung auch die Gleichspannungsversorgung von Systemkomponenten (z. B. Verstärkern) realisiert. Für die Überlagerung bzw. Trennung von Gleich- und Wechselspannungen oder von mehreren Wechselspannungen mit verschiedenen Frequenzen sind spezielle Weichen erforderlich, die hier näher betrachtet werden.

1.1 Die Weiche für die Überlagerung von einer Wechsel- und einer Gleichspannung ist in Material 1 dargestellt. Zwischen den Klemmen 1 und 2 wird die Wechselspannung mit der Funktionsgleichung $u_{\sim} = 5\,\text{V} \cdot \sin\left(6{,}283 \cdot 10^{8}\,\text{s}^{-1} \cdot t\right)$ angelegt. Für die zwischen den Klemmen 3 und 4 angelegte Gleichspannung gilt $U_{-} = 12\,\text{V}$. Zu jedem Zeitpunkt addieren sich der jeweilige Momentanwert $u_{\sim}$ der Wechselspannung und der Gleichspannungswert U_{-}. Die dabei entstehende Mischspannung U_{Misch} liegt zwischen den Klemmen 5 und 6 an.

1.1.1 Berechnen Sie für die Wechselspannung die Frequenz f in MHz und die Periodendauer T in ns. Zeichnen Sie jeweils die Wechsel-, die Gleich- und die Mischspannung in ein gemeinsames maßstäbliches Liniendiagramm.

Hinweis: Der zu betrachtende Zeitraum des Liniendiagramms hat zwei volle Perioden der Wechselspannung zu betragen.

(11 BE)

1.1.2 Berechnen Sie den Effektivwert der Mischspannung U_{Misch}.

Hinweis: Für den Effektivwert der Mischspannung gilt: $U_{\text{Misch}} = \sqrt{U_{-}^{2} + U_{\sim}^{2}}$

(3 BE)

1.1.3 Die in Material 1 enthaltenen Bauelemente besitzen bei der Frequenz $f = 400\,\text{MHz}$ folgende Blindwiderstände: $X_{\text{C1}} = 8{,}47\,\text{m}\Omega$ $X_{\text{C2}} = 3{,}98\,\text{m}\Omega$ $X_{\text{L1}} = 2{,}513\,\text{k}\Omega$

Berechnen Sie die Kapazitäten C_1 und C_2 in nF sowie die Induktivität L_1 in µH.
Begründen Sie die in diesem Fall zulässige Vernachlässigbarkeit der ohmschen Verlustwiderstände von realen Kondensatoren und realen Spulen.

(12 BE)

1.2 Die Weiche für die Trennung von einer Wechsel- und einer Gleichspannung ist in Material 2 dargestellt. Zwischen den Klemmen 1 und 2 wird die Mischspannung angelegt, die vorher durch die Überlagerung von einer Gleich- mit einer Wechselspannung erzeugt wurde. Zwischen den Klemmen 3 und 4 liegt der Gleichspannungsanteil und zwischen den Klemmen 5 und 6 der Wechselspannungsanteil der Mischspannung an.
Erklären Sie die Funktionsweise der Schaltung.

Hinweise: Es ist davon auszugehen, dass die Frequenz der Wechselspannung sehr hoch ist. Für die Erklärung der Funktionsweise sind keine Berechnungen erforderlich.

(6 BE)

1.3 Die in Material 3 dargestellte Weiche trennt bei geeigneter Dimensionierung zwei gemischte Wechselspannungen, deren Frequenzen sehr weit auseinanderliegen. Zwischen den Klemmen 1 und 2 wird die gemischte Eingangsspannung $\underline{U}_E$ angelegt. Die Wechselspannung mit der kleineren Frequenz liegt zwischen den Klemmen 3 und 4 als Ausgangsspannung $\underline{U}_{A1}$ an. Zwischen den Klemmen 5 und 6 liegt die Wechselspannung mit der größeren Frequenz als Ausgangsspannung $\underline{U}_{A2}$ an. Für die weitere Betrachtung besitzt $\underline{U}_E$ nur eine Frequenz, sie ist also eine normale sinusförmige Wechselspannung.
Berechnen Sie für die in Material 3 dargestellte Schaltung die Ströme und Spannungen $\underline{I}_E$, $\underline{I}_{R1}$, $\underline{I}_{L1}$, $\underline{I}_{R3}$, $\underline{U}_{A1}$ und $\underline{U}_{A2}$ sowie die insgesamt aufgenommenen Leistungen $\underline{S}$, P und Q.

Hinweis: Alle benötigten Werte sind Material 3 zu entnehmen.

(18 BE)

2 In einer Tiefgarage soll die Konzentration des giftigen Gases Kohlenstoffmonoxid (CO) in der Luft überwacht werden. Die CO-Konzentration wird mit der Maßeinheit ppm (parts per million, wörtlich übersetzt „Anteile pro Million“) angegeben. Als Sensor wird der Typ MQ-7 verwendet, der in Material 4 abgebildet ist. Die Überwachung ist über ein Mikrocontrollersystem mit integriertem 10-Bit-A/D-Wandler zu realisieren, das Material 5 zeigt einen unvollständigen Schaltplan. Der Analogausgang des Sensors liefert eine Spannung, welche über einen Analogeingang des Mikrocontrollers gemessen und mittels A/D-Wandler in einen Integer-Wert umgeformt wird. Der Digitalausgang des Sensors wird nicht genutzt. In Material 5 sind zwei Aktoren abgebildet, ein Lüfter und eine Sirene. Bei beiden handelt es sich um eigenständige Baugruppen mit Schaltverstärker und separater Spannungsversorgung. Über ihren jeweiligen Digitaleingang werden diese Aktoren vom Mikrocontroller ein- bzw. ausgeschaltet. Neben den in Material 5 dargestellten Baugruppen werden noch die zusätzlichen Bauelemente
– LED (jeweils eine in den Farben rot, grün und gelb),
– Vorwiderstand (jeweils einer pro LED),
– ein Taster (Schließerkontakt) mit Pull-Down-Widerstand
für die Überwachungsanlage benötigt.
Das Material 6 zeigt den unvollständigen Programmcode für die Überwachungsanlage. Im Code ist die Belegung der Pins eindeutig festgelegt.

2.1 Ergänzen Sie den Schaltplan in Material 5.

(11 BE)

2.2 Oft werden LEDs als Aktoren verwendet, für diese wird ein Vorwiderstand benötigt. Nennen Sie alle technischen Daten, die zur Berechnung des Vorwiderstands erforderlich sind.

(3 BE)

2.3 Manche Aktoren können wegen ihres hohen Strombedarfs nicht direkt von einem Mikrocontroller angesteuert werden.
Nennen Sie zwei mögliche Schaltverstärker.

(2 BE)

2.4 Im Programmcode, der in Material 6 dargestellt ist, werden sowohl Konstanten als auch Variablen deklariert.
Beschreiben Sie für beide Elemente zwei Gemeinsamkeiten sowie einen wesentlichen Unterschied.

(4 BE)

2.5 Der in Material 6 dargestellte Programmcode soll teilweise vervollständigt werden. Der Mikrocontroller und der Sensor werden gleichzeitig eingeschaltet, zu diesem Zeitpunkt startet auch das Programm. Bevor eine Messung der CO-Konzentration stattfinden kann, muss sich der Sensor 60 Sekunden lang aufheizen, um die erforderliche Betriebstemperatur zu erreichen. Nach Ablauf dieser Zeit wird die CO-Konzentration im Sekundentakt gemessen. Für diese Konzentration existiert ein unterer Grenzwert von 60 ppm und ein oberer Grenzwert von 100 ppm. Sollte der Messwert den unteren Grenzwert nicht überschreiten, so leuchtet die grüne LED und alle anderen Aktoren sind ausgeschaltet. Wird der untere Grenzwert überschritten und der obere Grenzwert nicht, so leuchtet die gelbe LED und der Lüfter ist eingeschaltet, alle anderen Aktoren sind ausgeschaltet. Wird der obere Grenzwert überschritten, so leuchtet die rote LED, der Lüfter sowie die Sirene sind eingeschaltet und alle anderen Aktoren sind ausgeschaltet.

2.5.1 Erläutern Sie die Abläufe innerhalb der Prozeduren `setup` und `aufheizen`. Geben Sie die Voraussetzung für das Beenden der Prozedur `setup` an.

(7 BE)

2.5.2 Der Vergleich des Messwerts mit den beiden Grenzwerten und die davon abhängige Ansteuerung der Aktoren soll innerhalb der Prozedur `vergleichen` stattfinden.
Implementieren Sie den Programmcode der Prozedur `vergleichen`.

Hinweis: Der für den Vergleich erforderliche Messwert wird durch den Aufruf der Prozedur `messen` ermittelt und in der globalen Variable `ppmWert` gespeichert.

(12 BE)

2.6 Für genaue Messergebnisse ist der Sensor regelmäßig zu kalibrieren. Dafür muss die Überwachungsanlage im Freien betrieben werden. Nach Betätigung des Tasters wird innerhalb der Prozedur `loop` die Prozedur `kalibrieren` aufgerufen. Diese misst innerhalb von einer Minute zehnmal die CO-Konzentration. Sie ermittelt aus den zehn Messwerten einen Durchschnittswert und speichert ihn in der globalen Variable `normalwert`. Anschließend wird die Prozedur `kalibrieren` beendet. Solange die Prozedur aktiv ist, sollen alle drei LEDs dauerhaft leuchten.

2.6.1 Entwerfen Sie für die Prozedur `kalibrieren` ein Struktogramm oder einen Programmablaufplan.

Hinweis: Die Messung der CO-Konzentration erfolgt durch den Aufruf der Prozedur `messen`. Der von dieser Prozedur ermittelte Wert wird in der globalen Variable `ppmWert` gespeichert.

(7 BE)

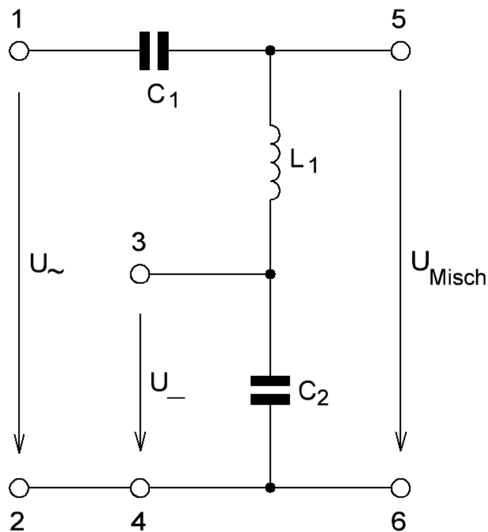
2.6.2 Beim Betätigen des Tasters tritt manchmal eine Fehlfunktion auf, die Prozedur `kalibrieren` wird in diesem Fall nicht aufgerufen. Erklären Sie die Ursache für die Fehlfunktion. Erläutern Sie die Bedingung, die für das Auftreten der Fehlfunktion erfüllt sein muss.

Hinweis: Die Hardware ist fehlerfrei.

(4 BE)

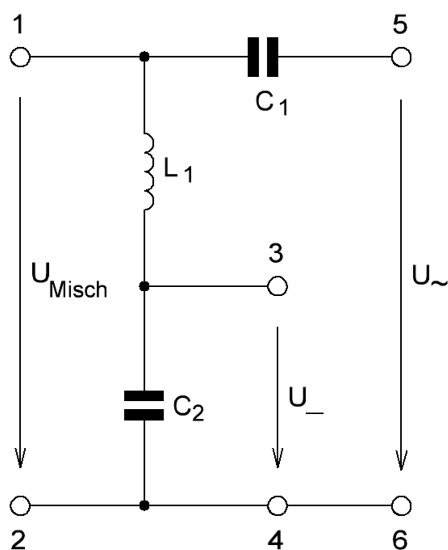
Material 1

Weiche zur Überlagerung von Wechsel- und Gleichspannung



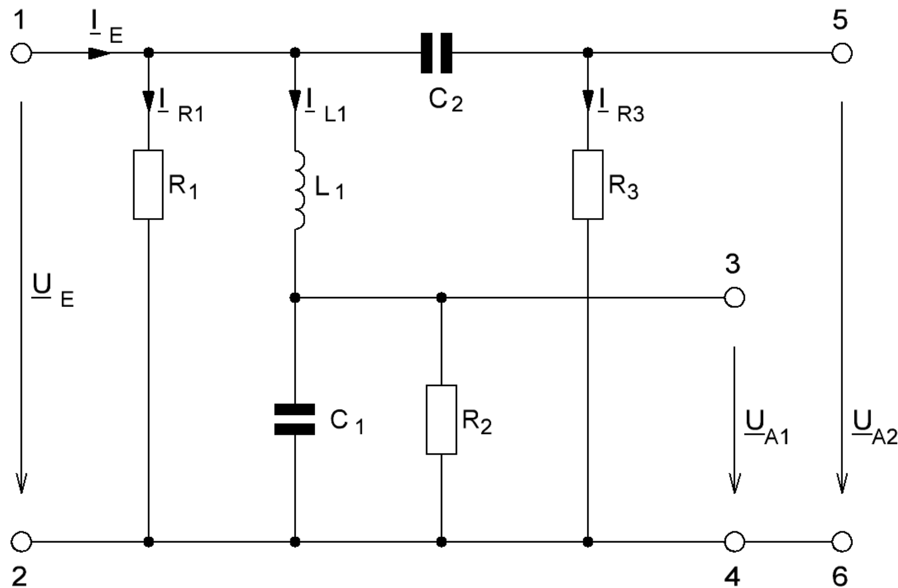
Material 2

Weiche zur Trennung von Wechsel- und Gleichspannung



Material 3

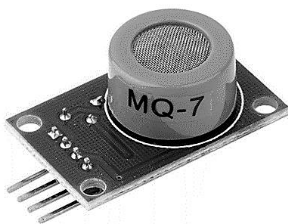
Weiche zur Trennung von zwei Wechselspannungen



$\underline{U}_E = 10\,V$
$f = 100\,MHz$
$R_1 = R_2 = R_3 = 75\,\Omega$
$L_1 = 0{,}3\,\mu H$
$C_1 = 100\,nF$
$C_2 = 100\,pF$

Material 4

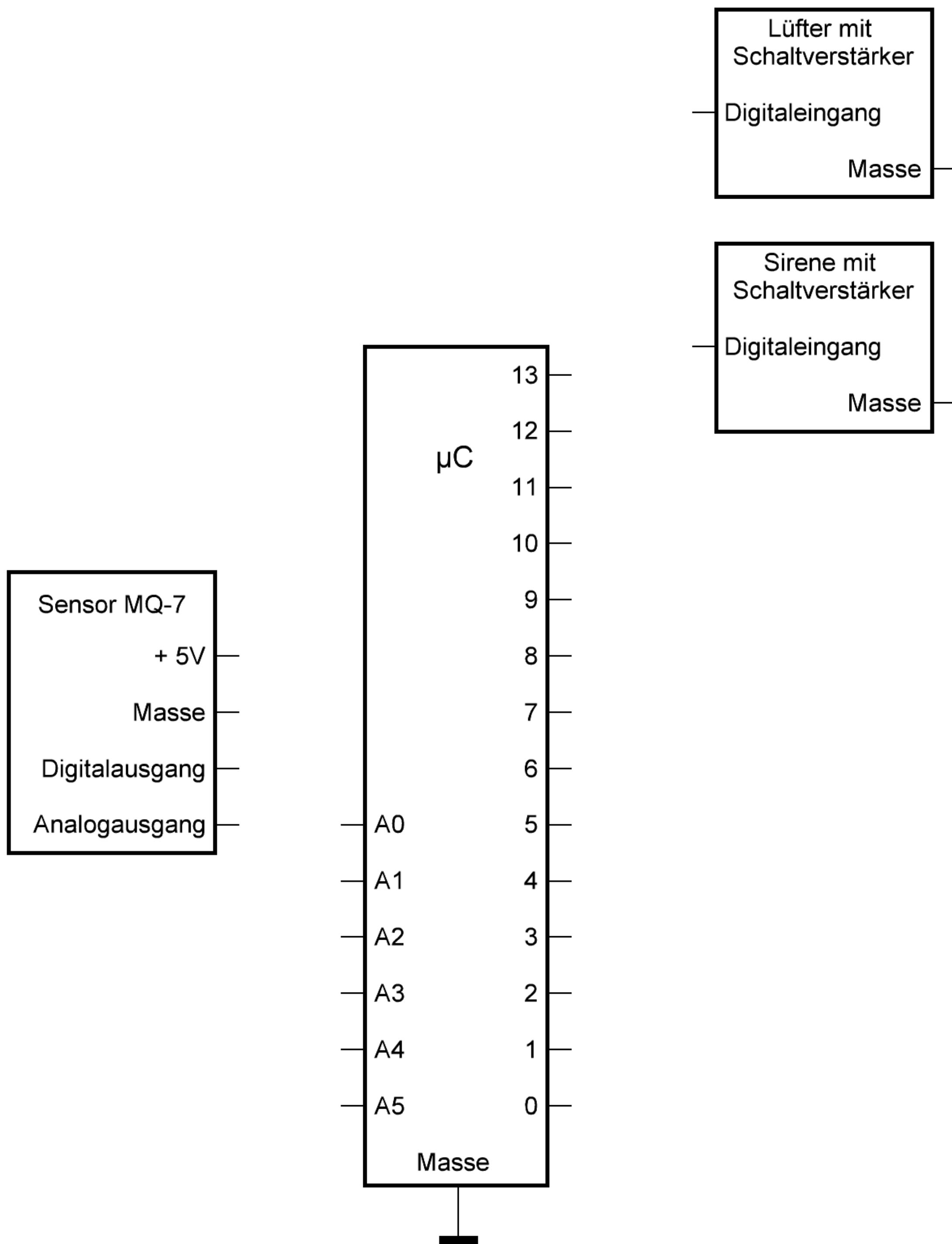
CO-Sensor MQ-7



https://www.amazon.in/Electrobot-MQ7-Carbon-Monoxide-Sensor/dp/B07QM15MKN (abgerufen am 02.10.2021).

Material 5

Unvollständiger Schaltplan



Material 6

Unvollständiger Programmcode

```
//Zuordnung der Pins für die Sensoren und Aktoren
const int SENSOR_MQ7 = A0;
const int LED_ROT = 8;
const int LED_GELB = 9;
const int LED_GRUEN = 10;
const int SIRENE = 11;
const int LUEFTER = 12;
const int TASTER = 5;

//Definition der Konstanten und Variablen
const int HEIZZEIT = 60; //Zeit zum Aufheizen des Sensors in Sekunden
const int GRENZWERT1 = 60; //unterer CO-Grenzwert in ppm
const int GRENZWERT2 = 100; //oberer CO-Grenzwert in ppm
int normalwert = 0; //CO-Normalwert in ppm, durch Kalibrierung ermittelt
int ppmWert; //von der Prozedur messen() ermittelter CO-Messwert in ppm

void setup()
{
  pinMode(LED_ROT, OUTPUT);
  pinMode(LED_GELB, OUTPUT);
  pinMode(LED_GRUEN, OUTPUT);
  pinMode(SIRENE, OUTPUT);
  pinMode(LUEFTER, OUTPUT);
  pinMode(TASTER, INPUT);

  aufheizen();
}

void loop()
{
  if(digitalRead(TASTER) == HIGH)
  {
    kalibrieren();
  }

  messen();
  vergleichen();
  delay(1000);
}

void vergleichen()
{

Hier fehlt Programmcode

}

void messen()
{
  //Aus der am Eingang SENSOR_MQ7 gemessenen Spannung wird die
  //CO-Konzentration in ppm berechnet und in der globalen Variablen ppmWert
  //gespeichert. Hier muss kein Code ergänzt werden.
}
```

Material 6 (Fortsetzung)

```
void aufheizen()
{
  for(int i = 0; i < HEIZZEIT; i++)
  {
    digitalWrite(LED_GELB, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(LED_GELB, LOW);
    delay(500);
  }
}

void kalibrieren()
{

Hier fehlt Programmcode

}
```